

**Задание для лекционного занятия по дисциплине  
«Основы работоспособности технических систем»**

**Занятие по расписанию**

**27.03.2020**

**группы ЭТА-31 и ЭТМ-31**

**14<sup>20</sup> – 15<sup>50</sup>**

**«Осн. раб. ТС»**

**Преподаватель: Корнеев Артем Сергеевич;**

**WhatsApp, Viber +79058798704**

**эл. почта: [KAS8798704@yandex.ru](mailto:KAS8798704@yandex.ru)**

**Артем Корнеев приглашает вас на запланированную конференцию:**

**Zoom.**

**Тема: Осн. раб. ТС Лек**

**Время: 27 мар 2020 02:20 PM Москва**

**Подключиться к конференции Zoom**

**<https://us04web.zoom.us/j/372839313?pwd=TkIrZk0rVTM4a2tjb2lLWG>**

**5HVHBJQT09**

**Идентификатор конференции: 372 839 313**

**Пароль: 004331**

**Изучить разделы: Основные положения теории трения**

1. Понятия и определения;
2. Взаимодействие рабочих поверхностей деталей;
3. Тепловые процессы, сопровождающие трение;
4. Влияние смазочного материала на процесс трения;
5. Факторы определяющие характер трения.

**Источник:**

Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем : учеб. / В. А. Зорин. - Москва : Магистр-Пресс, 2005. - 535 с.

**Задание для практических работ по дисциплине  
«Основы работоспособности технических систем»**

**Занятие по расписанию**

**27.03.2020**

**группы ЭТА-31 и ЭТМ-31**

**16<sup>05</sup> – 17<sup>40</sup>**

**«Осн. раб. ТС»**

**Преподаватель: Корнеев Артем Сергеевич;**

**WhatsApp, Viber +79058798704**

**эл. почта: [KAS8798704@yandex.ru](mailto:KAS8798704@yandex.ru)**

**Артем Корнеев приглашает вас на запланированную конференцию:**

**Zoom.**

**Тема: Осн. раб. ТС ПР**

**Время: 27 мар 2020 04:05 PM Москва**

**Подключиться к конференции Zoom**

**<https://us04web.zoom.us/j/166190355?pwd=Zk5tVUdCbGJEbHN0cWJE>**

**L1J0d1JNZz09**

**Идентификатор конференции: 166 190 355**

**Пароль: 020845**

## Практическая работа №3

Тема: «Изучение методов измерения износа деталей и сопряжений».

Цель работы: Ознакомится с основными закономерностями изнашивания деталей и сопряжений, а также получить представление о существующих методах измерения изнашивания.

Порядок выполнения работы:

- 1) Изучить закономерности изнашивания деталей дорожно-строительных машин;
- 2) Ознакомиться с классификацией износов;
- 3) Рассмотреть и проанализировать методы и средства экспериментальных исследований;
- 4) Ответить на контрольные вопросы.

### **Изнашивание элементов машин**

#### **Общая закономерность изнашивания**

В соответствии с ГОСТом 23.002-78 изнашиванием называют процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Основными количественными характеристиками изнашивания является износ, скорость изнашивания, интенсивность изнашивания.

*Износ* – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Износ (абсолютный или относительный) характеризует изменение геометрических размеров (линейный износ), массы (весовой износ) или объема (объ-

емный износ) детали вследствие изнашивания и измеряется в соответствующих единицах.

Различают предельный и допустимый износ. Предельным называют износ, соответствующий предельному состоянию изнашивающегося изделия или его составной части. Допустимым называют износ, при котором изделие сохраняет работоспособность. Допустимый износ всегда по абсолютной величине меньше предельного и соответствует предельному состоянию объекта.

*Скорость изнашивания*  $V_{и}$  (м/ч, г/ч, м<sup>3</sup>/ч) – отношение износа  $U$  к интервалу времени  $\tau$ , в течение которого он возник:

$$V_{и} = \frac{U}{\tau}. \quad (1)$$

*Интенсивность изнашивания*  $J$  – отношение износа к обусловленному пути  $L$ , на котором происходило изнашивание, или объему проделанной работы:

$$J = \frac{U}{L}. \quad (2)$$

При линейном износе интенсивность изнашивания является безразмерной величиной, а при весовом – измеряется в единицах массы, отнесенной к единице пути трения.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения характеризуется *износостойкостью* – величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания, в соответствующих единицах.

В процессе работы машины показатели изнашивания деталей и сопряжений не сохраняют постоянных значений. Изменения износа деталей во времени в общем случае можно представить в виде модели, предложенной В.Ф. Лоренцом. В начальный период работы, называемый *периодом приработки*, наблюдается довольно быстрый износ деталей (рисунок 1, участок I). Продолжительность этого периода обуславливается качеством поверхностей и режимом работы механизма и составляет обычно 1,5-2% ресурса узла трения. После приработки наступает *период установившегося режима изнашивания* (рисунок 1, участок II), определяющий долговечность сопряжений. Третий период – *период*

*катастрофического изнашивания* (рисунок 1, участок III) – характеризует предельное состояние механизма и ограничивает ресурс. Как видно из приведенных на рисунке 1 графиков, процесс изнашивания оказывает прямое, определяющее влияние на возникновение отказов и неисправностей узлов трения машин. Изменение показателей надежности во времени идентично изменению показателей изнашивания. Более высокая крутизна кривых  $m=\varphi(\tau)$  и  $C=\varphi(\tau)$  на участке II объясняется тем, что с наработкой возникают отказы, вызванные, помимо износа, усталостным, коррозионным разрушением или пластическими деформациями.

*Приработкой* называют процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Процесс приработки характеризуется интенсивным отделением с поверхностей трения продуктов износа, повышенным тепловыделением и изменением микрогеометрии поверхностей.

Повышение температуры поверхностей трения вызывает изменение физико-механических свойств поверхностных слоев материала. Изменение структуры и свойств металлов в поверхностных слоях деталей происходит также вследствие наклепа, вызванного пластическими деформациями микрообъемов материала рабочей поверхности в процессе приработки. Интенсивное разрушение выступов, обладающих наименьшей прочностью, образование новых неровностей, отличных по форме и размерам от исходных, а также изменение формы остальных, ранее существовавших, неровностей в процессе приработки ведет к изменению микрогеометрии поверхности.

$U, V_u, m, \lambda, C$

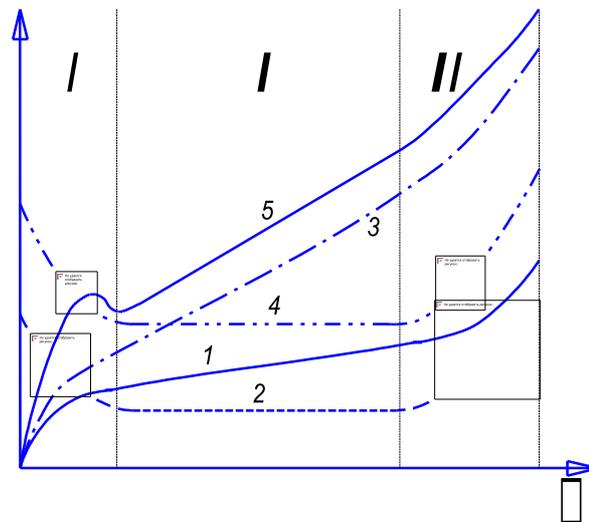


Рисунок 1 – Изменение параметров сопряжения в процессе работы:

1 – износа  $U$ ; 2 – скорости изнашивания  $V_u$ ; 3 – частоты отказов  $m$ ; 4 – интенсивности отказов  $\lambda$ ; 5 – затрат на поддержание работоспособности  $C$ .

Экспериментально установлено, что в разных условиях и различных парах трения после приработки всегда устанавливается одинаковая, так называемая «равновесная» шероховатость, характерная для определенных материалов. Равновесная шероховатость воспроизводится в процессе изнашивания поверхностей и остается в среднем постоянной. Исходная микрогеометрия поверхностей трения не оказывает влияния на равновесную шероховатость, как это видно из рисунка 2.

При правильном выборе соотношения твердости деталей и режимов приработки довольно быстро наступает период так называемого нормального, или установившегося изнашивания (см. рисунок 1, участок II). Этот период характеризуется небольшой, примерно постоянной, интенсивностью изнашивания и продолжается до тех пор, пока изменения размеров или формы деталей не повлияют на условия их работы, или до наступления предела усталости материала.

Накопление изменений геометрических размеров и физико-механических свойств деталей ведет к ухудшению условий работы сопряжения. Основным фактором при этом является повышение динамических нагрузок вследствие

увеличения зазоров в трущихся парах. В результате наступает период катастрофического, или прогрессивного изнашивания (см. рисунок 1, участок III). Описанная закономерность является условной и служит лишь иллюстрацией процесса изнашивания элементов машин.

### **Виды изнашивания**

Для того чтобы эффективно управлять процессами изменения технического состояния машин и обосновывать мероприятия, направленные на снижение интенсивности изнашивания деталей машин, следует определять в каждом конкретном случае вид изнашивания поверхностей. Для этого необходимо задать следующие характеристики:

- тип относительного перемещения поверхностей (схему фрикционного контакта);
- характер промежуточной среды (вид смазочного материала или рабочей жидкости);
- основной механизм изнашивания.

В сопряжениях дорожно-строительных машин существуют четыре типа относительного перемещения рабочих поверхностей деталей:

- *скольжение;*
- *качение;*
- *удар;*
- *осцилляция.*

*Осцилляцией* называется перемещение, имеющее характер относительных колебаний с малой амплитудой (в среднем 0,02 – 0,05).

- По виду промежуточной среды различают изнашивание при трении:
- *без смазочного материала;*
  - *со смазочным материалом;*
  - *с абразивным материалом.*

В зависимости от свойств материалов деталей, смазочного или абразивного материалов, также от их соотношения в сопряжениях в процессе работы возникают разрушения поверхностей различных видов. Изнашивание по ГОСТу 23.002–78 разделяют на следующие виды:

- *механическое* (абразивное, гидро- и газоабразивное, эрозионное, гидро- и газоэрозионное, кавитационное усталостное, при заедании, при фреттинге);
- *коррозионно-механическое* (окислительное, изнашивание при фреттинг-коррозии);
- *при действии электрического тока* (электроэрозионное).

*Механическое* изнашивание возникает в результате механических воздействий на поверхность трения.

*Коррозионно-механическим* называют изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим воздействием материала со средой.

*Электроэрозионным* называют эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. В дорожно-строительных машинах этот вид изнашивания встречается в элементах электрооборудования: генераторах, электромоторах, а также электромагнитных пускателях.

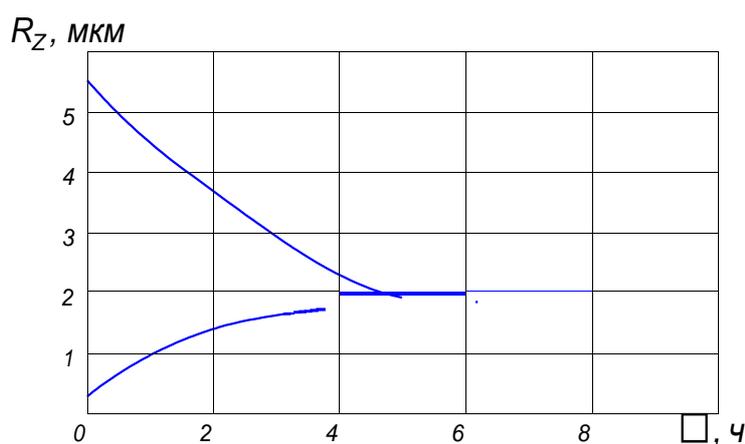


Рисунок 2 – Графики изменения микрогеометрии рабочих поверхностей деталей сопряжения «сталь 45 – бронза СНС–5–5–5» в процессе приработки  $\tau$ , ч, в условиях трения со смазочным материалом при различной начальной шероховатости

$$R_z, \text{ мкм}, (p = 3 \text{ МПа}; V = 5 \text{ м/с}).$$

## Методы и средства экспериментальных исследований

### Методы измерения износа деталей и сопряжений

Существующие методы измерения износа деталей и сборочных единиц машин разделяют на: *интегральные* и *дифференциальные*. *Интегральными* методами можно определить общий суммарный износ деталей сопряжения или сборочной единицы в целом. *Дифференциальные* методы используют, когда необходимо определить износ определенного участка рабочей поверхности детали. Эти методы позволяют найти характер распределения износа по рабочей поверхности детали, соотношение износа деталей сопряжения и пр.

Кроме того, существуют методы *периодического* (дискретного) и *непрерывного* измерения износа в процессе работы машины.

*Периодическое* измерение износа проводят при оценке технического состояния, надежности элементов машины. При исследовании закономерностей изнашивания элементов машин с целью прогнозирования их надежности предпочтение отдают методам непрерывного измерения износа. Методы *непрерывного* измерения сложны и поэтому, используя их при исследовании дорожно-строительной машины, необходимо применять специальную аппаратуру и приспособления.

Общая классификация методов измерения износа приведена в таблице 1.

*Метод микрометрических измерений* основан на периодическом измерении контрольных параметров деталей. Измерения проводят микрометром или штангенциркулем, индикаторным нутромером, а также с помощью рычажно-оптических приборов и инструментальных микроскопов. Точность измерения в зависимости от применяемого мерительного инструмента составляет 0,01-0,001 мм. На точность измерений влияет также качество очистки деталей от смазки и загрязнений.

## Классификация методов измерения износа

Метод	Оценка признака	Измерение износа во времени	Распределение износа
Микрометрических измерений	Изменение размеров деталей Профилографирование	Периодическое	Дифференциальное
Искусственных баз	Метод отпечатков Метод вырезанных лунок Метод слепков	Периодическое	Дифференциальное
По изменению параметров сопряжения	Измерение массы Измерение объема	Периодическое	Интегральное
	Измерение зазора в сопряжении	Периодическое, непрерывное	Интегральное
По содержанию металлических примесей в масле	Химический анализ Спектральный анализ	Периодическое	Интегральное
	Радиометрический анализ		Дифференциальное
	Весовой анализ Оптико-физический метод		Интегральное
По изменению показателей функционирования	Измерение утечек и расхода рабочей жидкости	Непрерывное	Интегральное
	Измерение давления рабочей среды	Периодическое и непрерывное	
	Измерение линейных и угловых перемещений	Периодическое	
Измерение виброакустических параметров			
По изменению радиоактивности деталей	Метод поверхностной активации	Непрерывное	Дифференциальное
	Метод радиоактивных вставок	Периодическое	

При проведении исследований, требующих более высокой точности результатов микрометрических измерений, в последнее время все шире применяют методы оптической голографии и когерентной оптики (лазерные методы), обеспечивающие снижение погрешности измерений в десятки раз.

При небольших размерах деталей и при возможности разборки сопряжения для измерения износа могут быть использованы микроскоп, оптиметр, датчики индикаторного типа.

Основным недостатком этого метода является то, что перед проведением измерений необходимо разобрать механизм, а также то, что при отсутствии измерительной базы оценить абсолютный износ детали довольно трудно.

*Метод профилографирования* основан на том, что с контрольного участка рабочей поверхности детали снимают профилограмму до начала работы механизма и после истечения установленного времени. По разности высот выступов микронеровностей определяют линейный износ. Измерительными средствами в этом случае служат профилометры и профилографы ИЗП–5, ИЗП-17, ИТП–21, ИТП–201.

Принцип действия профилографа (рисунок 3) заключается в следующем. Измерительный наконечник 1, имеющий малый радиус закругления, перемещается по микронеровностям исследуемой поверхности. Перемещение наконечника 1 вызывает поворот жестко связанного с ним зеркала 2. Пучок лучей, падающих на зеркало 2 от источника света 3, отражается к объективу 4. Сфокусированный с помощью объектива 4 луч попадает на фотопленку или светочувствительную бумагу, помещенную на равномерно вращающемся барабане 5.

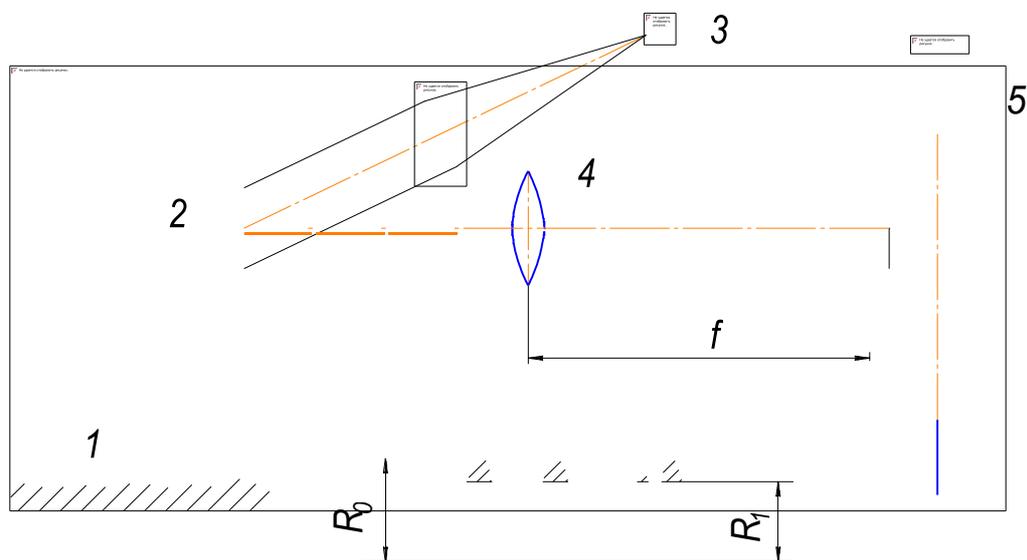


Рисунок 3 – Схема профилографа.

На пленке или бумаге записывается профилограмма, изображающая микронеровности в увеличенном масштабе. Линейный износ  $U = R_0 - R_1$  (здесь  $R_0$  и  $R_1$  – средняя высота выступов микронеровностей соответственно до начала и по окончании испытаний).

Если рабочая поверхность детали имеет участок, неизнашиваемый в процессе работы, который может быть использован как базовая поверхность, то износ оценивают с помощью одной профилограммы, снятой в конце периода работы. Точность метода профилографирования весьма высока. Она обусловлена точностью установки измерительного наконечника профилографа относительно исследуемой поверхности и точностью совмещения профилограмм. Недостатки метода профилографирования те же, что и у ранее описанных методов.

*Метод искусственных баз* заключается в нанесении на рабочую поверхность углубления правильной геометрической формы, по изменению размеров которого судят о линейном износе. Дно углубления служит неизменной искусственной базой, от которой измеряют расстояние до поверхности трения. По изменению длины или ширины отпечатка на поверхности трения, соотношение которого с глубиной определено заранее, можно определить местный линейный износ. Углубления наносят с помощью алмазного или твердосплавного инструмента. Геометрические параметры углубления измеряют с помощью оптических измерительных приборов.

В зависимости от формы и метода нанесения углублений различают следующие методы искусственных баз:

- отпечатков;
- лунок;
- слепков.

*Метод отпечатков.* Углубления пирамидальной формы наносят с помощью алмазного инструмента с квадратным основанием и углом при вершине между противоположащими гранями равным  $136^\circ$  (рисунок 4). Отпечатки наносят с помощью приборов для определения твердости типа ПМТ-3 или Викерса. Из-

нос  $U$  определяют по изменению длины диагонали ( $d_0-d_1$ ) в результате изнашивания:

$$U = h_0 - h_1 = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} (d_0 - d_1). \quad (3)$$

Диагональ отпечатка измеряют с помощью микроскопа. Основным недостатком этого метода является вспучивание поверхности при нанесении отпечатка.

*Метод вырезанных лунок*, предложенный М.М. Хрущевым и Е.С. Берковичем, получил очень широкое распространение. В рабочей поверхности детали с помощью вращающегося резца вырезают лунку, по уменьшению размеров которой в результате изнашивания судят о величине износа (рисунок 5). Обычно в качестве контрольного параметра используют длину лунки, определяемую с помощью микроскопа. Лунки вырезают вращающимся алмазным резцом, заточенным в виде трехгранной пирамиды с отрицательным передним углом. Соотношение между глубиной лунки и длиной ее составляет 1:50 – 1:80, что обеспечивает высокую точность измерения износа.

Приборы, предназначенные для определения износа методом вырезанных лунок, должны обеспечивать вырезание лунки в выбранном месте поверхности трения исследуемой детали, точное координирование места лунки (чтобы ее не трудно было обнаружить после испытаний), точное определение длины лунки до и после испытаний.

Для определения износа методом вырезанных лунок применяют приборы УПОИ-6, оптико-механический индикатор износа ОМИ-1, а также обычные микроскопы с градуированным окуляром.

Размеры лунки определяются особенностями деталей и условиями испытаний – при больших износах наносят лунки с наибольшей длиной, а следовательно и глубиной. Глубина лунки должна быть несоизмеримо больше высоты микронеровностей. Рекомендуются следующие соотношения размеров лунки: глубина 20,8; 48,0; 83,0 мкм, длина соответственно 1,0; 1,5; 2,0 мм.

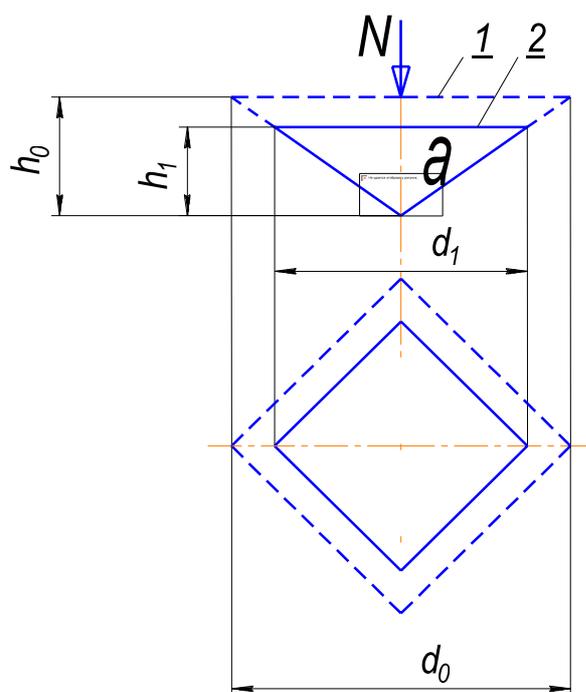


Рисунок 4 – Схема износа методом отпечатков: 1 – поверхность трения до изнашивания; 2 – поверхность трения после изнашивания.

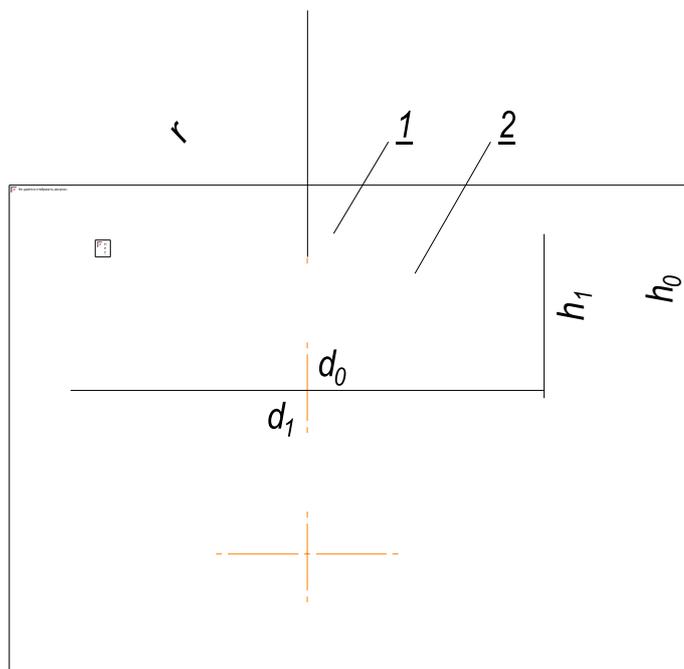


Рисунок 5 – Схема измерения износа методом вырезанных лунок: 1 – поверхность трения до изнашивания; 2 – поверхность трения после изнашивания.

Износ плоских, а также цилиндрических поверхностей при лунке, расположенной по образующей цилиндра:

$$U = 0,125 \cdot \left( d_0^2 - d_1^2 \right) \cdot \frac{1}{r} \quad (4)$$

где  $d_0$  и  $d_1$  – длина лунки до и после изнашивания, мм;  $r$  – радиус вращения вершины резца, мм.

Износ лунки, расположенной на выпуклой цилиндрической поверхности:

$$U = 0,125 \cdot \left( d_0^2 - d_1^2 \right) \cdot \left( \frac{1}{r} + \frac{2}{R} \right) \quad (5)$$

где  $R$  – радиус цилиндрической поверхности, мм.

Этот метод проще, чем метод отпечатков. При вырезании лунок на поверхности детали материал не вспучивается. Точность метода 0,0005–0,002 мм.

*Метод слепков (негативных оттисков)* используется в тех случаях, когда измерение отпечатков лунок или рисок правильной геометрической формы на рабочей поверхности детали непосредственно произведено быть не может. Предусматривается нанесение на поверхность детали специальной быстро твердеющей массы (например, стиракрила) и снятие слепка или оттиска. Износ оценивают по разнице в форме и размерах слепков, полученных до и после изнашивания:  $U = h_0 - h_1$ .

Недостатки метода искусственных баз: низкая точность измерения большая трудоемкость операций; необходимость разборки механизма.

*Метод измерения износа по изменению параметров сопряжения* основан на определении потери массы или объема деталей, а также зазора между поверхностями трения. Метод определения износа по потере массы заключается в периодическом взвешивании детали. Измерительными средствами являются весы различных типов: приборные ПР–500, аналитические ВЛА–200, ВНЗ–2 и др. Точность метода зависит от точности весов и составляет  $(0,05 - 5) \times 10^{-6}$  г.

Метод измерения износа по изменению объема детали или зазора между поверхностями трения по существу близок к методу микрометрических измерений: при определении контролируемых параметров применяют те же инстру-

менты и методы измерений. Основными недостатками метода измерения износа по изменению параметров сопряжения являются необходимость разборки механизма для проведения измерений.

## **Методы и оборудование для испытаний элементов машин на изнашивание**

Существующие методы испытаний механизмов на изнашивание можно разделить на: *эксплуатационные, стендовые и лабораторные*. При *эксплуатационных* испытаниях износ элементов можно оценивать с помощью интегральных методов. Машина работает в обычном режиме. По содержанию продуктов износа в масле, величине зазора, давлению в системе или изменению какого-либо другого показателя, значения которого периодически измеряют во время исследований, определяют закономерность изнашивания отдельных деталей или сопряжения в целом. Основные недостатки эксплуатационных исследований – большая продолжительность и низкая точность результатов. Преимущество – не требуется дополнительных затрат на оборудование и проведение испытаний.

При *стендовых* испытаниях на специализированных стендах (как правило, уникальных) испытывают сборочные единицы машины: двигатели, редукторы, гидромоторы. Износ деталей и сопряжений оценивают интегральным или дифференциальным методами. Режимы испытаний сборочных единиц устанавливают или в соответствии с эксплуатационными режимами работы (нормальные испытания), или ужесточенные, форсированные по одному из параметров: нагрузке, температуре, скорости, времени (форсированные испытания).

Стендовые испытания обеспечивают более высокую точность результатов, позволяют сократить продолжительность исследований. Основным недостатком стендовых испытаний заключается в необходимости создания специальных дорогостоящих стендов.

*Лабораторные* испытания проводят на универсальных установках – машинах для испытания материалов на трение и изнашивание. Характерной осо-

бенностью таких испытаний является то, что исследование проводят на физической модели сопряжения, обеспечивающей подобие явлений изнашивания в условиях эксплуатации и при испытаниях. Лабораторные испытания используют для решений задач по подбору материалов деталей сопряжений, смазочных материалов, по обоснованию рациональных режимов работы и смазки сопряжений, по определению ресурса деталей сопряжений, периодичности проведения регулировочных и смазочных операций и т.п. При лабораторных испытаниях исключают влияние внешних условий на контрольно-измерительные приборы, обеспечивают максимальную точность результатов измерений при минимальной продолжительности исследований.

Для испытаний материалов на трение и изнашивание в лабораторных условиях применяют установки различных типов и моделей, основными из которых являются: ПРУ-1 (машина для испытаний элементов стеклоочистителей); ИМ-58 (машина для испытаний фрикционных элементов тормозов и муфт сцепления в условиях динамического нагружения); АЕ-5 (испытательная установка для исследования материалов на трение, изнашивание и заедание в условиях самосмазывания и искусственного терморегулирования); ЛТС, М22-М, МТ-66 (машины трения, предназначенные для исследования антифрикционных материалов); МАСТ-1, МАСТ-2 (четырёх - шариковые машины для исследования эксплуатационных свойств смазочных материалов); 77МТ-1 (стенды для испытания материалов на изнашивание при возвратно-поступательном движении); СМЦ-2, УМТ-1 (универсальные машины трения).

Установки для испытания элементов машин на трение и изнашивание классифицируют по конструкции образцов и кинематике их относительного перемещения (рисунок 6).

Четырёхшариковые машины (рисунок 6, а) используют как в нашей стране, так и за рубежом для исследования эксплуатационных свойств масел и пластичных смазочных материалов. Среди машин трения, выпускаемых отечественной промышленностью, наибольшее распространение получили универсаль-

ные установки для испытания материалов на трение и изнашивание типа СМЦ–2 и УМТ–1.

Эти установки сходны по конструкции и позволяют моделировать трение и изнашивание всех основных типов сопряжений в присутствии смазочного материала, в абразивной среде или в условиях трения без смазочного материала. При помощи контрольно-измерительных приборов и оборудования, которыми оснащена установка, в процессе испытаний регистрируют все основные параметры, характеризующие режим работы сопряжения и условия трения образцов. Режимы работы сопряжений при испытаниях устанавливаются на основании условий подобию и физического моделирования изнашивания.

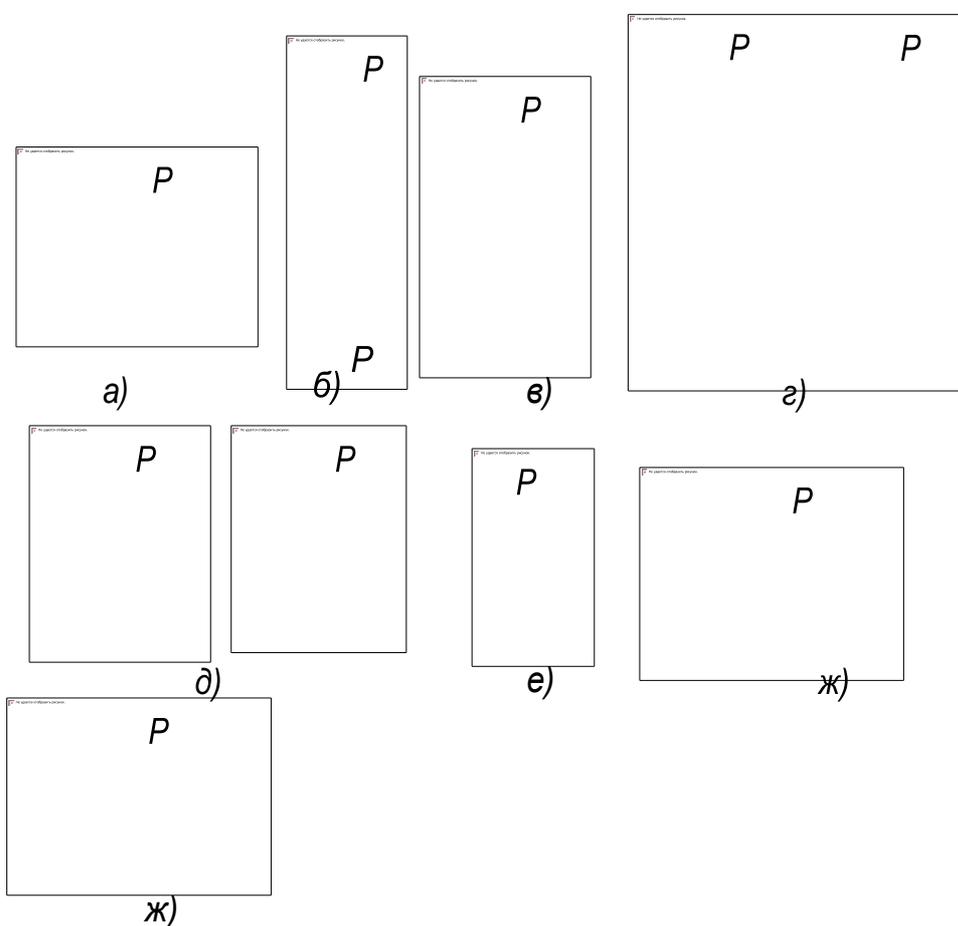


Рисунок 6 – Типовые схемы образцов, испытываемых на машинах трения:

- а) четырехшариковая; б) "Фалекс"; в) "Тимкен"; г) дисковая; д) "Амен";
- е) "палец-диск"; ж) "палец-цилиндр" (машина Арчарда).



## Вопросы к защите практической работы

1. Что понимают под «изнашиванием»?
2. Как определить скорость изнашивания?
3. Понятие износостойкости?
4. Как изменяются параметры сопряжения в процессе работы?
5. Виды изнашивания?
6. Методы измерения изнашивания?  
Оборудование для испытания элементов ма